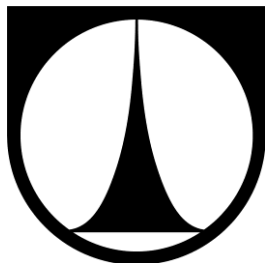


**TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI**

Fakulta strojní



**ZJIŠŤOVÁNÍ Vlivu PROCESNÍCH KAPALIN OD SVĚTOVÝCH  
VÝROBCŮ NA TECHNOLOGII FRÉZOVÁNÍ A JAKOST  
OBROBENÉHO POVRCHU PŘI OBRÁBĚNÍ SLITINY HLINÍKU**

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

Liberec 2014

Vladimír Toman

## **Technická univerzita v Liberci**

Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže

Bakalářský studijní program:

strojírenská technologie

Zaměření:

obrábění a montáž

### **Zjišťování vlivu procesních kapalin od světových výrobců na technologii frézování a jakost obrobeného povrchu při obrábění slitin hliníku**

### **Investigating the impact of process fluids made by the world manufacturers on milling technology and surface quality during machining of aluminum alloys**

**KOM - 1254**

*Vladimír Toman*

Vedoucí práce:

Doc. Ing. Jan Jersák, CSc.

Konzultant:

Prof. Ing. Alexey Popov, DrSc.

Ing. Miloslav Ledvina

Počet stran: 50

Počet příloh: -

Počet obrázků: 18

Počet tabulek: 11

Počet diagramů: 4

Datum: 19. 5. 2014

**Zjišťování vlivu procesních kapalin od světových výrobců na technologii frézování a jakost obrobeného povrchu při obrábění slitin hliníku**

**ANOTACE:**

Tato bakalářská práce shrnuje základní poznatky o procesních kapalinách, slitinách hliníku a drsnosti povrchu. Porovnává procesní kapaliny od různých světových výrobců na technologii čelního frézování slitiny hliníku. Hodnotícím kritériem byl vliv procesních kapalin na drsnost obrobeného povrchu a druh vzniklých třísek při obrábění. Výsledky této bakalářské práce dokazují, že procesní kapaliny nemají přílišný vliv na drsnost povrchu a tvar třísek po frézování slitiny hliníku.

**Investigating the impact of process fluids made by the world manufacturers on milling technology and surface quality during machining of aluminum alloys**

**ANNOTATION:**

This bachelor thesis summarizes basic pieces of knowledge about process fluids, aluminium alloys and surface roughness. It compares the process fluids made by different world manufacturers on frontal milling technology of aluminum alloy. The evaluating criterion was the impact of process fluids on roughness of machined surface and type of splinters arised during machining. The results of this bachelor thesis prove that process fluids don't have any excessive impact on the surface roughness and the shape of splinters after the aluminium alloys were milled.

**Klíčová slova: FRÉZOVÁNÍ, SLITINY HLINÍKU, PROCESNÍ KAPALINY, DRSNOST POVRCHU**

Zpracovatel:

TU v Liberci, KOM

Dokončeno:

2014

Archivní označ. zprávy:

Počet stran: 50

Počet tabulek: 11

Počet diagramů: 4

Počet příloh: -

Počet obrázků: 18

## ***PROHLÁŠENÍ***

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé diplomové práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li diplomovou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Diplomovou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím diplomové práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum: 19. 5. 2014

Podpis:

## ***PODĚKOVÁNÍ***

Chtěl bych rád poděkovat především panu Doc. Ing. Janu Jersákovi, CSc. za cenné rady, předmětné připomínky, a především za trpělivost při vedení mé bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat panu Prof. Ing. Alexey Popovovi DrSc., za užitečné rady a vedení v průběhu zpracování této bakalářské práce. Také bych chtěl poděkovat panu Ing. Miloslavu Ledvinovi a panu Ing. Jiřímu Karáskovi za technickou spolupráci při průběhu experimentů. Dále bych také chtěl poděkovat své přítelkyni Bc. Nele Štekerové za konečnou korekturu této práce.

Mé poděkování patří též pracovníkům Katedry obrábění a montáže za jejich ochotu a vstřícnost v celém průběhu vypracování této bakalářské práce.

Rád bych také poděkoval své rodině za podporu a trpělivost, která mi byla poskytována během celého mého studia.

Podpis:

# Obsah

Seznam použitých zkratek a symbolů .....	9
1 Úvod .....	11
2 Frézování .....	12
2.1 Válcové a čelní frézování .....	12
2.2 Sousedné a nesousedné frézování .....	13
2.2.1 Sousedné frézování .....	13
2.2.2 Nesousedné frézování .....	13
3 Obrábění slitiny hliníku .....	14
3.1 Rozdělení slitin hliníku .....	14
3.2 Obrobitelnost slitin hliníku .....	14
4 Procesní kapaliny a jejich vliv na obrábění slitin hliníku .....	17
4.1 Rozdělení procesních kapalin .....	17
4.1.1 Řezné oleje .....	17
4.1.2 Minerální oleje .....	18
4.1.3 Emulzní kapaliny .....	18
4.1.4 Vodné roztoky .....	18
4.1.5 Syntetické a polosyntetické kapaliny .....	19
4.2 Požadavky na procesní kapaliny .....	19
4.2.1 Mazací účinek .....	19
4.2.2 Čisticí účinek .....	19
4.2.3 Chladicí účinek .....	20
4.2.4 Ochranný účinek .....	20
4.2.5 Zdravotní nezávadnost .....	20

4.2.6	Nízké náklady .....	20
4.2.7	Provozní stálost .....	20
4.3	Vliv procesních kapalin na frézování slitin hliníku .....	21
5	Drsnost povrchu .....	22
5.1	Měření drsnosti povrchu .....	22
5.1.1	Porovnávací metoda.....	22
5.1.2	Světelný řez .....	23
5.1.3	Dotyková metoda.....	23
5.1.4	Interference světla.....	24
5.2	Parametry měření drsnosti povrchu .....	24
5.2.1	Výškové parametry .....	24
5.2.2	Nosný podíl profilu .....	25
6	Návrh metodiky experimentů .....	26
6.1	Charakteristika strojů, přístrojů, použitého materiálu a procesních kapalin .....	26
6.1.1	Obráběcí stroj .....	26
6.1.2	Výměnná břitová destička.....	26
6.1.3	Refraktometr.....	28
6.1.4	Laboratorní profilometr MITUTOYO .....	28
6.2	Příprava zkušebních vzorků, procesních kapalin a stroje .....	29
6.2.1	Příprava zkušebních vzorků .....	29
6.2.2	Příprava procesních kapalin .....	29
6.2.3	Příprava stroje.....	30
6.3	Příprava měření drsnosti obrobené plochy .....	31
6.4	Příprava hodnocení druhu třísek.....	32
7	Realizace experimentů .....	34

7.1	Metodika přípravy procesních kapalin.....	34
7.2	Frézování slitiny hliníku .....	34
7.3	Měření parametru drsnosti obrobené plochy .....	37
7.4	Hodnocení druhu třísek .....	38
8	Vyhodnocení experimentu.....	39
8.1	Vliv procesních kapalin na drsnost povrchu .....	39
8.1.1	Vliv procesních kapalin na parametr Ra .....	39
8.1.2	Vliv procesních kapalin na parametr Rz .....	40
8.1.3	Vliv procesních kapalin na parametr $c_{tp50}$ .....	41
8.2	Vliv procesních kapalin na druh vzniklých třísek .....	43
9	Závěr.....	46
	Seznam použité literatury .....	49



## Seznam použitých zkratek a symbolů

Al	[-]	hliník
$a_p$	[mm]	hloubka záběru řezného nástroje
Bi	[-]	bismut
c	[-]	vztažná čára
$c_1$	[ $\mu\text{m}$ ]	výška řezu
Cd	[-]	kadmium
$c_{p50}$	[ $\mu\text{m}$ ]	nosný podíl posuzovaného profilu 50%
Cu	[-]	měď
D	[mm]	průměr frézy
$f_z$	[mm]	posuv na zub
k	[-]	počet měření
K	[-]	refrakční index
KOM	[-]	katedra obrábění a montáže
$K_v$	[-]	součinitel obrobitelnosti
$l_r$	[ $\mu\text{m}$ ]	základní délka profilu
Mg	[-]	hořčík
MQL	[-]	minimální množství procesní kapaliny
n	[ $\text{s}^{-1}$ ]	otáčky
Pb	[-]	olovo
PC	[-]	osobní počítač
PK	[-]	procesní kapalina
Ra	[ $\mu\text{m}$ ]	střední aritmetická úchylka profilu
RK	[%]	koncentrace naměřená na refraktometru
$R_{mr}$	[ $\mu\text{m}$ ]	materiálový podíl
$R_p$	[ $\mu\text{m}$ ]	největší výška výstupku profilu
$R_v$	[ $\mu\text{m}$ ]	největší hloubka prohlubně profilu
$R_z$	[ $\mu\text{m}$ ]	největší výška nerovnosti profilu
s	[-]	výběrová směrodatná odchylka

Sb	[-]	antimon
Si	[-]	křemík
SK	[%]	skutečná hodnota koncentrace
TU	[-]	technická univerzita
$t_{\alpha,n-1}$	[-]	hodnota kritického rozdělení
VBD	[-]	vyměnitelná břitová destička
$v_c$	[mm/min]	řezná rychlost
$v_f$	[mm/min]	rychlost posuvu
$\bar{x}$	[-]	aritmetický průměr
$x_i$	[-]	naměřená hodnota
Z(x)	[-]	profilová křivka

# 1 Úvod

Frézování je jednou z nejrozšířenějších metod obrábění rovinných a tvarových ploch strojních součástí. Jedná se o třískovou technologii, kde můžeme dosahovat vysoké přesnosti a jakosti obrobené plochy.

Pro proces frézování a jeho optimalizaci je důležité vhodně zvolit tyto parametry: obráběcí stroj, materiál nástroje a řezné podmínky, přičemž důležitý vliv mají procesní kapaliny.

Procesní kapaliny vytvářejí prostředí, které významně ovlivňuje svými fyzikálními a chemickými vlastnostmi ekonomické i kvalitativní výsledky obrábění. Zkoumané procesní kapaliny byly od různých světových výrobců a byly to tyto kapaliny: Blasocut Kombi 35, Cimstar 620, Hocut 795B, Vasco 1000, Zubora Universal, Zubora 65H Ultra a Zubora 20H Extra.

Tato bakalářská práce, která se zabývá vlivem procesních kapalin na proces frézování slitiny hliníku, se zaměřuje na drsnost povrchu a tvar třísky po obrábění.

Slitiny hliníku jsou v dnešní době jedním z nejvíce využívaných materiálů ve strojírenství, zejména pak v automobilovém a leteckém průmyslu. Tato práce se zabývá i problémy spojenými s obráběním těchto hliníkových slitin.

## **Cíle bakalářské práce:**

- zjištění vlivu procesních kapalin na tvar vzniklých třísek slitiny hliníku po obrábění,
- porovnání vybraných procesních kapalin dle jejich vlivu na drsnost povrchu obrobené součásti,
- zjištění vlivu procesních kapalin na proces čelního frézování slitiny hliníku.

Tato bakalářská práce souvisí s řešením výzkumného projektu, který je realizován na Katedře obrábění a montáže TU v Liberci, pro společnost PARAMO, a.s. Jedná se o projekt TAČR – TA02021332, který je zaměřen na ekologické obráběcí kapaliny nové generace.

## 2 Frézování

Frézování je strojní způsob třískového obrábění, zpravidla vícebřitým rotujícím nástrojem. Obrábějí se rovné plochy, drážky a plochy tvarové. Provádí se dvěma na sebe vázanými pohyby: rotačním pohybem nástroje, což se považuje za hlavní řezný pohyb, a vedlejším posuvným pohybem obrobku [1].

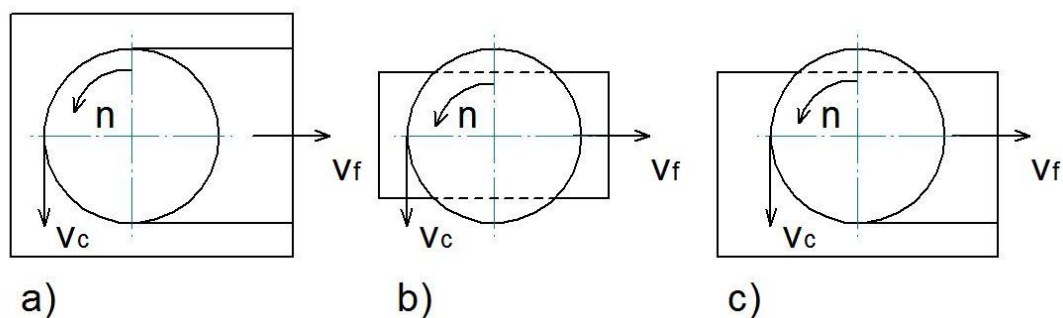
Břity frézy se umísťují na válcové, kuželové nebo tvarové ploše. U čelních fréz také na čelní ploše. Frézy se dělí do jednotlivých skupin podle geometrického tvaru, materiálu břitu, tvaru břitu, způsobu upínání a mnoha dalších faktorů. Fréza má obvykle větší počet zubů a každý z nich odebírá určité množství materiálu [2].

Frézovacím strojem jsou frézky, jež dělíme zpravidla do čtyř skupin: konzolové, rovinné, stolové a speciální. V současné době se stále více používají moderní víceosé CNC stroje [1], [2]. Podle způsobu záběru frézy rozeznáváme dva základní způsoby frézování a to: válcové (frézování obvodem) a čelní (frézování čelem). Od těchto základních způsobů se odvozují některé další, jako jsou frézování okružní a planetové [2].

### 2.1 Válcové a čelní frézování

Při válcovém frézování se převážně využívají válcové a tvarové frézy. Osa nástroje je rovnoběžná s obráběnou plochou a fréza odebírá materiál zuby umístěnými po obvodu svého tělesa. Hloubka odebírané třísky se nastavuje kolmo na osu nástroje a směr posuvu.

Při čelním frézování se uplatňují čelní frézy, které mají zuby umístěné na čele, ale i na obvodu nástroje. Při obrábění je osa frézy kolmá k obráběné ploše a nástroj tak odebírá materiál zároveň na čele i obvodu frézy. Podle polohy nástroje rozlišujeme frézování symetrické úplné, symetrické neúplné a neúplné nesymetrické (viz obr. 1.) Z kinematického hlediska rozlišujeme frézování sousledné a nesousledné [5], [2].



Obr. 1. Čelní frézování: a) symetrické úplné, b) symetrické neúplné, c) nesymetrické neúplné (dle [5])

## 2.2 Sousedné a nesousedné frézování

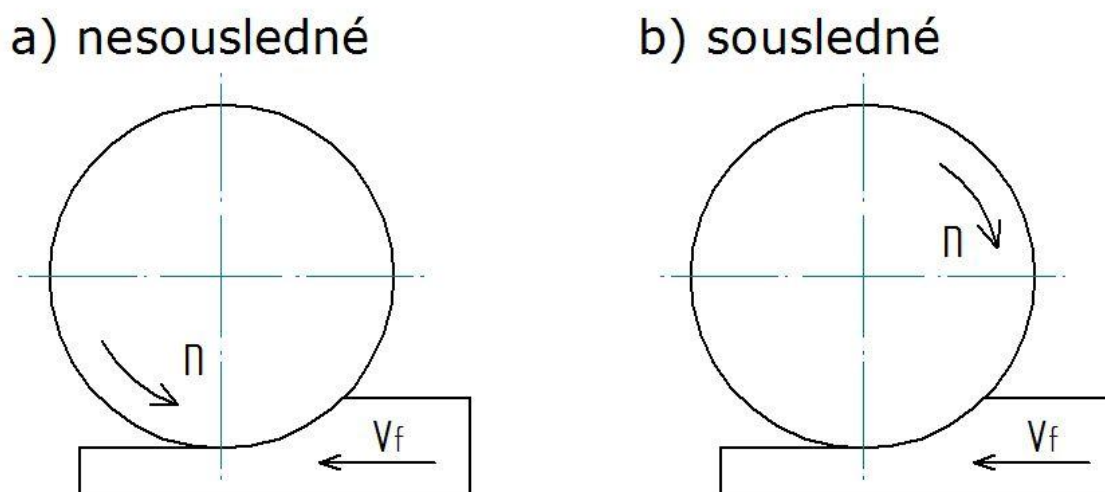
### 2.2.1 Sousedné frézování

Při sousledném frézování (viz obr. 2.) se nástroj otáčí ve směru posuvu obrobku a tloušťka třísky se mění. Maximální tříska vzniká při vniknutí do obrobku a postupně se zmenšuje do nuly při výběhu z materiálu. Výsledné řezné síly působí směrem dolů proti směru stroje, což umožňuje zmenšit upínací síly. Další výhodou sousledného frézování je vyšší trvanlivost břitů, menší potřebný výkon, obvykle menší sklon k tvoření nárůstků a menší drsnost obrobeného povrchu [5], [2].

### 2.2.2 Nesousedné frézování

Při nesousedném frézování se nástroj otáčí proti směru posuvu obrobku. Každý zub frézy začíná odebírat materiál od nulové tloušťky třísky, která se postupně zvětšuje až do maximální možné tloušťky [2].

Z důvodu zaoblení ostří nástroje nedochází k oddělování třísky v její nulové tloušťce, ale břit klouže po ploše vytvořené předcházejícím zubem. Přitom vznikají velké silové účinky a následná deformace způsobí opotřebení břitu. Nevýhodou nesousedného frézování je, že výsledná řezná síla směřuje nahoru, a tím odtahuje obrobek od stolu stroje [2],[5].



Obr. 2 Frézování sousledné a nesousledné: a) nesousledné, b) sousledné (dle[5])

### 3 Obrábění slitiny hliníku

Hliník a jeho slitiny jsou v dnešní době jedním z nepoužívanějších materiálů v průmyslové výrobě, zejména pak v automobilovém a leteckém průmyslu. Patří do skupiny neželezných kovů a důvodem jeho rozsáhlého využití jsou jeho mechanické vlastnosti a výjimečnost oproti jiným neželezným kovům. Mezi jeho pozitivní mechanické vlastnosti patří dobrá tepelná vodivost, nízká hmotnost, odolnost proti korozi, odrazivost světelných paprsků apod. Ve strojírenství má ale čistý hliník minimální využití a používají se především jeho slitiny [1], [4].

#### 3.1 Rozdělení slitin hliníku

Rozdělení slitin hliníku se provádí podle různých hledisek, nejčastější dělení je ovšem dle použití:

- slévárenské hliníkové slitiny,
- hliníkové slitiny pro tváření,
- automatové slitiny hliníku.

Pro výzkum této bakalářské práce jsou zásadní především automatové slitiny hliníku, které se používají pro obrábění. Tyto speciální slitiny hliníku popisuje dále následující kapitola.

Zlepšení mechanických vlastností u všech slitin hliníku se provádí legováním jedním nebo více prvky. Tím následně dochází ke zlepšení jeho pevnostních, chemických, technologických a také fyzikálních vlastností. Hlavními legujícími prvky jsou křemík, měď, mangan, hořčík, zinek a železo. Měď například zlepšuje obrobitelnost a zvyšuje pevnost a křemík zlepšuje korozivzdornost a slévateľnost. Zatímco pevnost a tvrdost zajišťuje železo. [1], [4].

#### 3.2 Obrobitelnost slitin hliníku

Obrobitelnost je pojem, který zahrnuje mnoho vlastností a parametrů. Například tvar třísky, kvalitu povrchu, životnost nástroje a řeznou sílu. Obecně lze říci, že slitiny hliníku patří mezi ty lépe obrobitelné konstrukční materiály v porovnání s oceli. Důvodem jsou výrazně nižší řezné síly v porovnání s oceli stejné pevnosti. Řezné teploty bývají nízké, a tak lze používat vyšší řezné rychlosti. [1], [4].

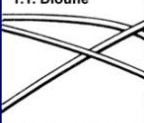
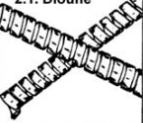

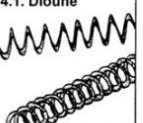
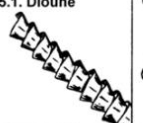
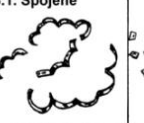



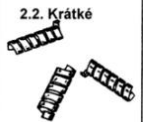

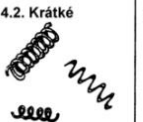
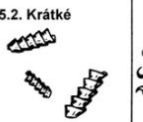
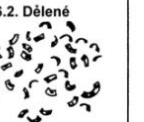
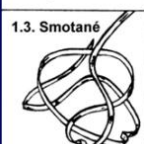
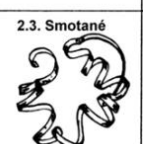
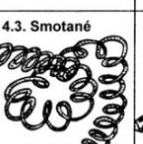
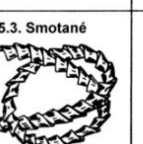
Ve strojírenství se ovšem obrobiteľnost vyjadřuje především součinitelem obrobiteľnosti. Ten je definován jako poměr řezné rychlosti zkoušeného materiálu k řezné rychlosti dosažené u etalonového materiálu za stejných podmínek. Výsledný součinitel obrobiteľnosti se uvádí pomocí dvaceti tříd, které uvádí charakter materiálu. Čím je označení třídy vyšší, tím je obrobiteľnost lepší. Tabulka 1. uvádí součinitel obrobiteľnosti hliníku [13].

Tab. 1. Součinitel obrobiteľnosti a korespondující třídy obrobiteľnosti [13]

Součinitel obrobiteľnosti $K_v$		Třída obrobiteľnosti materiálu
Od - do	Střední hodnota	Hliník a slitiny hliníku
0,36 - 0,44	0,40	6 d
0,45 - 0,56	0,50	7 d
0,57 - 0,71	0,63	8 d
0,72 - 0,89	0,80	9 d
0,90 - 1,12	1,00	10 d
1,13 - 1,41	1,26	11 d
1,42 - 1,78	1,59	12 d
1,79 - 2,24	2,00	13 d

Dalším důležitým parametrem při obrábění slitin hliníku je tvar třísky. Pro hodnocení tvaru třísky se používá vizuální zkouška a tvar třísky je poté rozřazen do skupin a podskupin, jak uvádí tabulka 2. Úkolem této bakalářské práce je i hodnocení výsledného tvaru třísky po frézování slitiny hliníku [13].

Tab. 2. Rozdělení tvaru třísek dle normy ISO 3685 [6]

1. Stružkové * třísky	2. Vlnité * třísky	3. Spirálové * třísky	4. Vlnité šroubovitě třísky	5. Kuželovité * šroubovitě třísky	6. Obloukovité třísky	7. Elementární třísky	8. Jehlovité třísky
1.1. Dlouhé 	2.1. Dlouhé 	3.1. Ploché 	4.1. Dlouhé 	5.1. Dlouhé 	6.1. Spojené 		
1.2. Krátké 	2.2. Krátké 	3.2. Kuželovité 	4.2. Krátké 	5.2. Krátké 	6.2. Dělené 		
1.3. Smotané 	2.3. Smotané 		4.3. Smotané 	5.3. Smotané 			

Automatové slitiny hliníku, které jsou vhodné pro obrábění, jsou legovány prvky s nízkou teplotou tání a pro vznik drobné lámavé třísky se používají tyto legující prvky

Pb, Bi, Sb a Cd. Ve světě se vyrábí a používají tři základní typy slitin hliníku vhodné pro obrábění, a jsou to AlMgSiPb, AlCu4PbMg a AlCu6BiPb [12].

Obrábění hliníku a jeho slitin vyžaduje odlišný přístup v porovnání s nástroji pro obrábění oceli nebo litiny. Z těchto důvodů je nutno vytvořit optimální pracovní podmínky z hlediska použitého rezného materiálu, tvaru a typu obráběcích nástrojů. U hliníkových slitin je nebezpečí vytváření nežádoucích nárůstků na břitu nástroje. Nárůstek vzniká díky nízké teplotě tavení a následného odvodu třísky. Vlivem třecího napětí dochází k nalepování na břit nebo čelo nástroje a vzniklé nárůstky způsobují nekvalitní povrch. Řešením, jak zabránit vzniku nárůstu, jsou vyšší rezné rychlosti a aplikace kluzné vrstvy.

Dalším důležitým bodem obrábění hliníku je utváření a odvod třísky. Při vyšších rezných rychlostech se může stát, že se neláme tříska, a proto je nutné přistoupit k opatření. Tím může být vhodně zvolený nástroj, jeho geometrie břitu a aplikace utvařeče třísky, který zamezí tvorbě dlouhé třísky [1], [3], [13].



## 4 Procesní kapaliny a jejich vliv na obrábění slitin hliníku

Tato kapitola se zabývá procesními kapalinami a jejich vlivem na obrábění slitiny hliníku. Mimo jiné se zabývá vlastnostmi a rozdělením procesních kapalin, a také tím, jaké musí mít požadavky ve strojírenské výrobě.

Procesní kapaliny vytvářejí prostředí, které významně ovlivňuje svými fyzikálními a chemickými vlastnostmi ekonomické i kvalitativní výsledky obrábění. Požadavky na procesní kapalinu tedy jsou takové, aby měla mazací, čistící, chladicí a ochranný účinek. Všechny tyto požadavky na PK jsou popsány v další kapitole.

Použití procesních kapalin při obrábění má spoustu pozitivních aspektů, neboť jím lze zamezit vzniku některých negativních vlivů. Mezi pozitivní vlastnosti procesní kapaliny patří například to, že zabráňuje vzniku nárůstku, jenž se vytváří na čele nástroje. Jedná se o vrstvu kovu, která se navažuje v okolí ostří nástroje. Nárůstek poškozuje řeznou část nástroje, znehodnocuje povrch a přesnost obrobku. Další pozitivní vliv má procesní kapalina na řezný odpor. Ten je výsledkem odporu materiálu proti porušení soudržnosti. Na řezný odpor má tedy největší vliv složka tření, která souvisí s pružnými a plastickými deformacemi, teplotou a tlakem. Na vzniklé tření můžeme využít mazací schopnosti procesní kapaliny, která se přivádí do místa řezu. Také teplota řezu má podstatný význam na proces obrábění, neboť vždy působí negativně na trvanlivost nástroje a tepelně ovlivňuje materiál obrobku. Procesní kapalina, která se přivádí do místa řezu, teplotu výrazně snižuje [8].

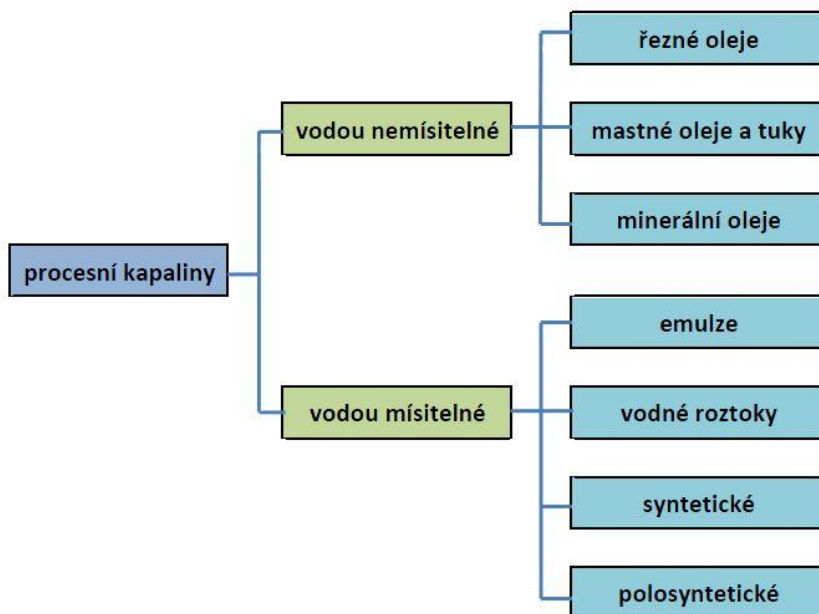
### 4.1 Rozdělení procesních kapalin

Procesní kapaliny lze například dělit na kapaliny s převažujícím chladicím účinkem (vodou mísitelné) a převažujícím mazacím účinkem (vodou nemísitelné). Toto rozdělení je znázorněno na obr. 3. [6].

#### 4.1.1 Řezné oleje

Řezné oleje jsou zušlechtěné minerální oleje. Účelem zušlechtování je zlepšit mazací účinek oleje. Zušlechtují se organickými sloučeninami, přidáním mastných látek

a pevných maziv. Mají dobrý chladicí účinek, mazací schopnost, antikorozi vlastnosti a jsou ekonomicky nenáročné [8].



Obr. 3 Schéma rozdělení procesních kapalin (dle[6])

#### 4.1.2 Minerální oleje

Minerální oleje jsou ropné produkty. Jejich výhodou je dobrá mazací schopnost, ochranný účinek, odolnost proti stárnutí a nízká cena. Nevýhodou těchto procesních kapalin je horší chladicí účinek a využívají se velmi zřídka [6].

#### 4.1.3 Emulzní kapaliny

Emulze je disperzní soustava dvou vzájemně nerozpustných kapalin. Jedna kapalina tvoří mikroskopické kapky, které jsou roztroušené v té druhé kapalině. Nejvíce používaná emulzní kapalina při obrábění je olej ve vodě. Emulze spojují přednosti vody a oleje, mají tedy velmi dobrý chladicí účinek. Mazací olej s emulgátorem jim dodává mazací účinek a protikorozi vlastnosti [6].

#### 4.1.4 Vodné roztoky

Voda je nejlevnější a nejdostupnější kapalinou. Má dobré chladicí schopnosti, je zdravotně nezávadná a má i čistící účinky. Nevýhodou vody je její tvrdost, odpařivost a korozi účinek. Proto, aby se voda mohla používat jako procesní kapalina, je

třeba ji zbavit nežádoucích vlastností. Musíme ji tedy zbavit obsahu solí a přidat přísady, které zajistí požadované vlastnosti [6].

#### **4.1.5 Syntetické a polosyntetické kapaliny**

Syntetické kapaliny jsou homogenní roztoky vzájemně mísitelných látek, které neobsahují olej. Výhodou je velká provozní stálost, dobré chladicí, mazací a ochranné vlastnosti. Polosyntetické kapaliny jsou minerální oleje doplněné o syntetické přísady. Tyto procesní kapaliny vytváří účinnou antikorozi ochranu. Mají oproti jiným kapalinám delší životnost a dobře odplavují třísku [6].

### **4.2 Požadavky na procesní kapaliny**

Použití procesních kapalin vede k co největší hospodárnosti při obrábění. Snahou tedy je zajistit vysokou trvanlivost nástrojů a při co nejmenší spotřebě energie zajistit kvalitní jakost povrchu. To vede k požadavkům na procesní kapaliny. Velký vliv má mazací, čistící, chladicí a ochranný účinek. Dalšími faktory jsou zdravotní nezávadnost, hospodárnost a provozní stálost [6].

#### **4.2.1 Mazací účinek**

Mazací účinek je schopnost kapaliny vytvořit na povrchu kovu přilnavou tlakovzdornou vrstvu, která zmenšuje tření mezi nástrojem a obrobkem, i třískou a obrobkem. Mazací schopnost kapaliny má vliv na zmenšení tření, velikost řezného odporu, množství spotřebované energie a plynulost obvodu třísky. Využití těchto vlastností je především při obrábění na čisto. Mazací účinek kapaliny je ovlivněn viskozitou a pevností mezní vrstvy, protože se zvyšující se viskozitou se zhoršuje pronikání do místa řezu. S tím souvisí i odvod tepla z místa styku a proudění kapaliny. Čím je kapalina viskóznější, tím více se udržuje na třískách, a tím dochází ke ztrátám [6].

#### **4.2.2 Čistící účinek**

Procesní kapalina má také za úkol odstraňovat třísky z místa obrábění. Jejich shromažďování na nástroji zhoršuje řezné schopnosti a může dojít k poškození obrobených ploch. Kapalina, která má dobrý čistící účinek musí mít nízkou viskozitu a dovolovat snadné a rychlé usazování nečistot. Kvalita čištění je závislá na odstraňování nečistot. [6].

#### **4.2.3 Chladicí účinek**

Chladicí schopnost kapaliny je důležitá pro odvádění tepla z místa řezu. Chladicí účinek kapaliny tedy závisí na těchto parametrech: musí mít schopnost smáčet povrch kovu, mít dobrou tepelnou vodivost a rychlost vypařování za určitých teplot. Chlazení při obrábění má velký význam, pokud se neodvádí teplo, může to vést k nepřesnostem a trvanlivost nástrojů se výrazně zhoršuje. Zejména pak pro nástroje z rychlořezné oceli. Odvod tepla z řezu se provádí přívodem proudu kapaliny na nástroje, třísky i obrobek. Při tomto procesu dochází k mírnému odpařování procesní kapaliny a zbytek odtéká zpět do nádrže, kde dochází k ochlazení [6].

#### **4.2.4 Ochranný účinek**

Procesní kapalina nesmí způsobovat korozi obrobků, ale ani korozi strojů. Proto jsou do procesních kapalin přidávány přísady, které chrání před korozními účinky [8].

#### **4.2.5 Zdravotní nezávadnost**

Obsluha strojů přichází do kontaktu s procesní kapalinou velmi často, proto je důležité, aby tyto kapaliny i jejich výpary byly zdravotně nezávadné. To znamená, že nesmí být jedovaté, nesmějí obsahovat látky dráždící sliznici a pokožku [6].

#### **4.2.6 Nízké náklady**

Náklady vynaložené na procesní kapaliny by měly být co nejmenší, protože spotřeba kapaliny je poměrně velká. Rozhodnutí o vhodnosti použití určité kapaliny určuje především technickoekonomický rozbor. Výběr procesní kapaliny neurčuje jen cena, ale zohlednění celého procesu výroby, jelikož má procesní kapalina větší význam na proces obrábění. Například trvanlivost nástroje, ostření, jakost povrchu a spotřeba energie. Celý rozbor musí také zahrnovat náklady na likvidaci procesní kapaliny [8].

#### **4.2.7 Provozní stálost**

Provozní stálost je velmi významný požadavek, jelikož by měla procesní kapalina vydržet co nejdéle beze změny vlastností. Stárnutí procesních kapalin se projevuje například zvýšenou pěnivostí, zmenšením chladicího účinku a ztrátou antikorozního účinku. Stálost kapalin při uskladnění je základní předpoklad. Příznivý vliv na procesní kapaliny mají velké nádrže, odstranění kalů a nečistot a pravidelná výměna náplně [6].

### **4.3 Vliv procesních kapalin na frézování slitin hliníku**

K této problematice není příliš informací v dostupné literatuře. Poznatky byly čerpány prostřednictvím internetu a odborných časopisů. Hodnocení vlivu procesních kapalin na obrábění slitin hliníku je také především cílem této bakalářské práce.

V předchozích kapitolách již bylo zmíněno, že slitiny hliníku vyžadují odlišný přístup obrábění v porovnání s jinými materiály. U použití procesních kapalin při frézování jakéhokoliv materiálu dochází k výkyvům teplot. To je způsobeno tím, že jsou ochlazovány břity mimo záběr, a břit, který je v záběru, nikoliv. Břity jsou tak neustále zahřívány a vzápětí ochlazovány. To způsobuje tepelné napětí a může dojít k poškození nástroje. Metoda MQL (Minimal Quantities of Lubricant), což znamená minimální množství procesní kapaliny, tento tepelný výkyv eliminuje. Je to metoda, kde je procesní kapalina nahrazena mlhou. Mazání mlhou je výhodné, protože procesní kapalina je zde ve formě aerosolu, který vlivem kapilárních sil pronikne i do bezprostřední blízkosti řezu. Metoda MQL se využívá především při čelním frézování slitin hliníku.

Další důležitou funkcí procesních kapalin při frézování slitin hliníku je znesnadnění ulpívání částic materiálu na břitu nástroje a odvod třísek z pracovního prostoru. Díky procesní kapalině lze také volit vysoké řezné rychlosti, které mohou dosahovat až 2000 m/min [1], [9], [10], [14].

## 5 Drsnost povrchu

Každá obrobená strojní součást je hodnocena z pohledu jakosti povrchu. Jakost obrobeného povrchu je možné posuzovat podle těchto hledisek: tvarová a rozměrová přesnost, drsnost povrchu a vlastnosti povrchové vrstvy. Integrita povrchu je soubor všech vlastností a charakteristik povrchu, vzniklého výrobním procesem, hodnotící vlastnosti povrchové plochy a povrchové vrstvy ve vztahu k vlastnostem základního materiálu součásti. Integrita povrchu se posuzuje podle těchto hledisek: geometrie obrobeného povrchu, fyzikálně mechanické vlastnosti povrchové vrstvy a fyzikálně chemický stav povrchu. V této bakalářské práci, která se zabývá vlivem procesních kapalin na jakost povrchu, je úkolem posuzovat jakost povrchu z pohledu drsnosti [11].

Drsnost je důsledkem procesů, ke kterým dochází při použití jakékoliv technologické metody ve strojírenské výrobě, a je ovlivněna technologickými podmínkami při výrobě. Při obrábění je to způsobeno tím, že každý řezný nástroj zanechává na povrchu obrobku stopy. Nerovnost má velký význam na funkci těchto ploch a rozteč nerovností charakterizuje strukturu povrchu a dělí ji na složky. Existují složky s malou vzdáleností nerovností a s velkou vzdáleností nerovností, jako jsou úchytky tvaru a vlnitost povrchu. Drsnost povrchu je tedy definována jako část geometrických odchylek s relativně malou vzdáleností nerovností. [6], [7].

### 5.1 Měření drsnosti povrchu

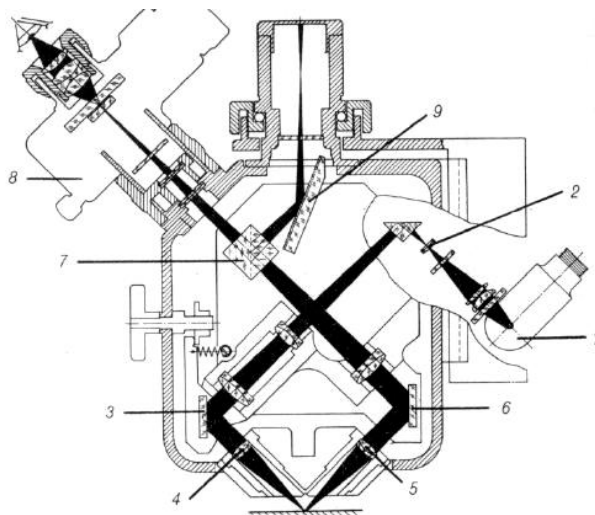
Drsnost je možné měřit porovnávací metodou, metodou světelného řezu, dotykovou metodou a interferencí světla.

#### 5.1.1 *Porovnávací metoda*

Měření se provádí porovnáváním drsnosti povrchu zkušební vzorku s drsností povrchu na vzorkovnici. Vzorkovnice obsahuje sadu etalonů s různými drsnostmi. Porovnávání se provádí na mikroskopu. Podmínkami pro měření je, že materiál vzorku a etalonu jsou stejné, tvar povrchu součásti a etalonu jsou stejné, a že musí být stejná trajektorie obrábění povrchu vzorku i etalonu [6].

### 5.1.2 Světelný řez

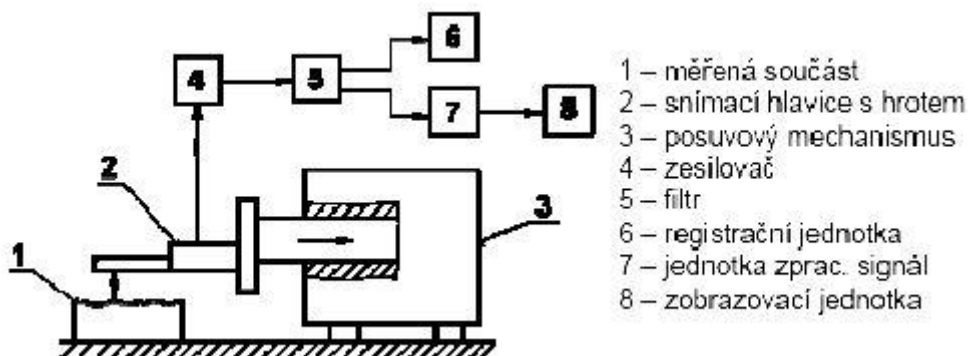
Tato metoda využívá dopad velmi úzkého rovnoběžného svazku paprsků na měřený povrch pod úhlem  $45^\circ$  a následného odrazu od nerovnosti. V mikroskopu tím vznikne obraz profilu šikmého řezu nerovností plochy. Ten se pak vyhodnotí v mikroskopu s mikrometrickými okuláry, na kterých se odečítá pomocí nitkového kříže v okuláru. Schéma tohoto mikroskopu je zobrazeno obr. 4. [6].



Obr. 4 Schéma mikroskopu pro metodu světelného řezu. [11]

### 5.1.3 Dotyková metoda

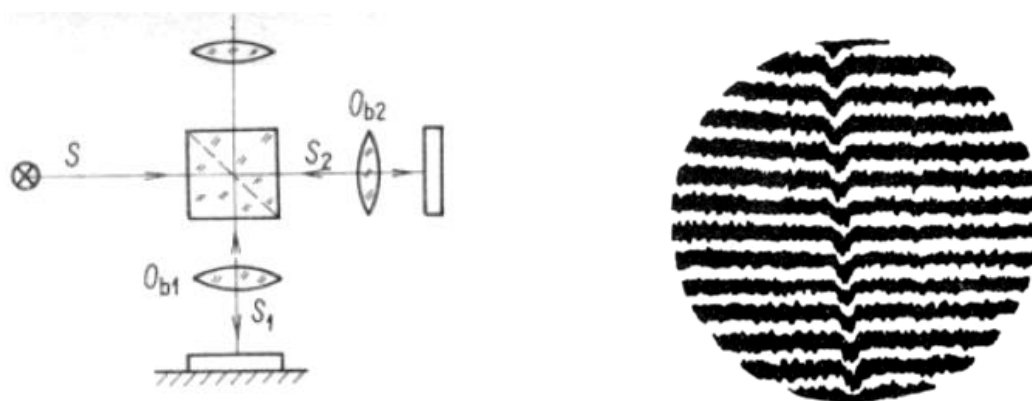
Jedná se o nejrozšířenější metodu měření drsnosti povrchu. K měření se využívá dotykový profilometr (schéma znázorněno na obr. 5.). Skládá se z mechanické a elektronické části. Mechanická část snímá povrch součásti a elektronická část převádí data na číselné hodnoty parametrů drsnosti. Buď jsou tyto číselné hodnoty přímo odečítány z profilometru, nebo s využitím softwaru na připojeném PC [6].



Obr. 5. Schéma dotykového profilometru [6]

#### 5.1.4 Interference světla

Princip metody spočívá v tom, že svazek paprsků prostupuje přes polopropustné zrcadlo a dělí paprsky na dva dílčí. Z nich jeden pokračuje dále na povrch součásti a zpět do okuláru, a druhý paprsek se odrazí od zrcadla a míří zpět do okuláru. V okuláru se paprsky spojí (interferují) a vytváří obraz povrchu součásti. Viz obr. 6. [6].



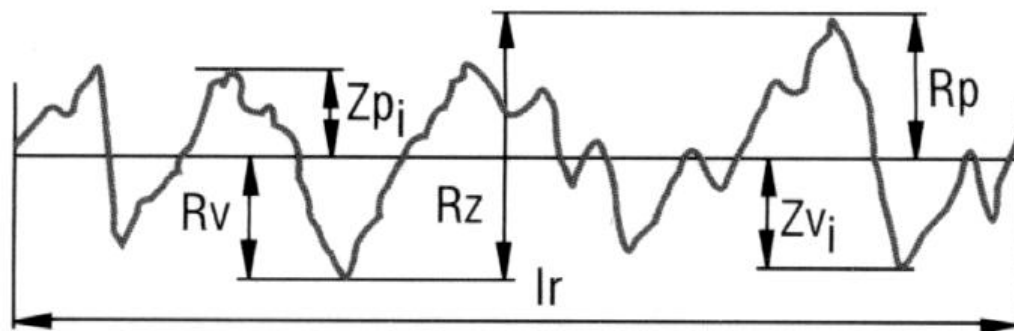
Obr. 6. Interferenční mikroskop (vlevo) a obraz v okuláru přístroje (vpravo) [6]

## 5.2 Parametry měření drsnosti povrchu

Drsnost povrchu se hodnotí podle tří základních parametrů: výškových, délkových a tvarových. Nejvíce používaným parametrem jsou výškové profily a dalším parametrem, který nejlépe vyjádří představu o drsnosti povrchu, je nosný podíl profilu.

### 5.2.1 Výškové parametry

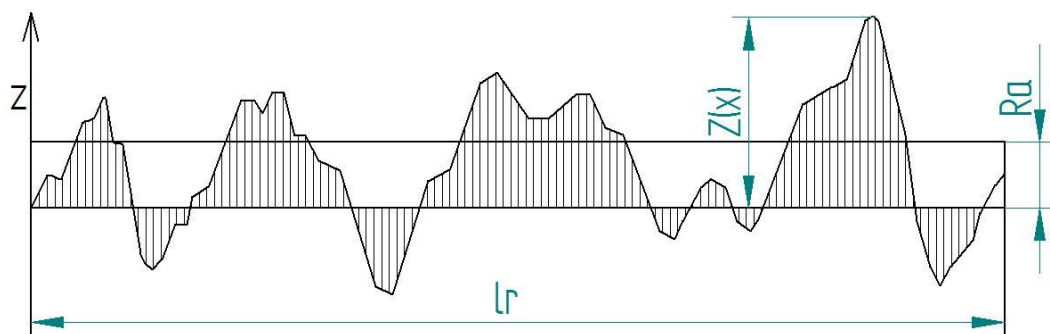
Obrázek 7. zobrazuje základní výškové parametry drsnosti povrchu. Písmeno  $R_v$  je označeno největší hloubka prohlubně profilu. Největší výška výstupku je zakótována jako  $R_p$  a největší výška nerovnosti profilu, označena jako  $R_z$ , je dána součtem největší hloubky profilu a největší výšky výstupku profilu [6].



Obr. 7. Výškové parametry  $R_v$ ,  $R_p$ ,  $R_z$  [6]



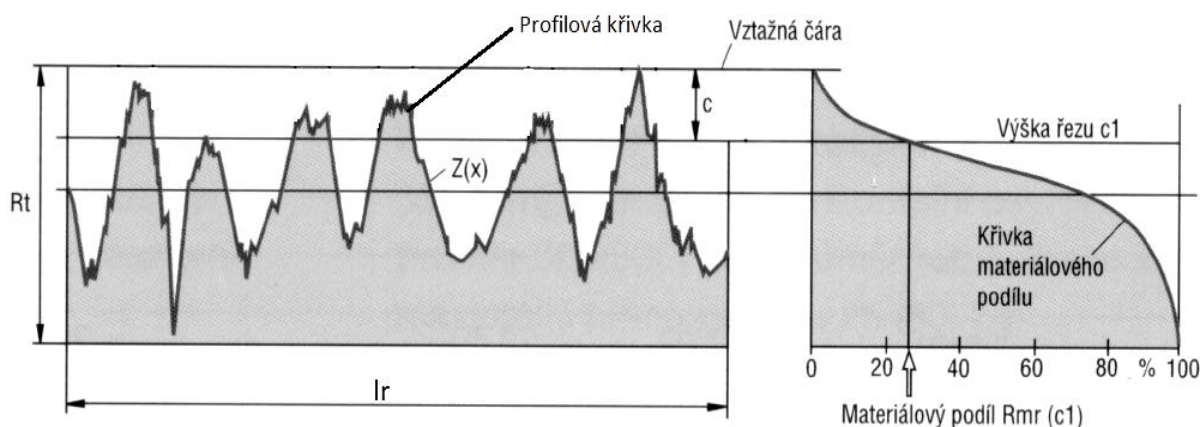
Dalším významným parametrem drsnosti je střední aritmetická úchylka profilu  $R_a$ , kterou popisuje obrázek 8. Je to aritmetický průměr absolutních hodnot  $Z(x)$ , v rozsahu základní délky. Tento parametr však nereaguje citlivě na extrémní výšky a hloubky měření profilu. Proto tato hodnota nevypovídá zcela přesně o dané drsnosti [6].



Obr. 8. Střední aritmetická úchylka profilu  $R_a$

### 5.2.2 Nosný podíl profilu

Nejllepší představu o drsnosti povrchu získáme z křivky materiálového podílu a střední aritmetické úchylky profilu. Křivku materiálového podílu profilu získáme z profilové křivky (viz obr. 9.), známou též jako Abbottova křivka. Z Abbottovy křivky je možné odvodit nosný podíl profilu. Ten je dán poměrem nosné délky profilu v konkrétní jeho hloubce k základní délce  $l_r$ . Tento parametr se nazývá  $R_{mr}$  a je vyjádřený v %. Nosný podíl profilu je také možné vyjádřit číselným parametrem  $c_{tp50}$ , který značí podíl materiálu a vzduchu 50%. Čím je hodnota  $c_{tp50}$  menší, tím je povrch kvalitnější [6], [7].



Obr. 9. Profilová a nosná křivka drsnosti povrchu [11]

## 6 Návrh metodiky experimentů

### 6.1 Charakteristika strojů, přístrojů, použitého materiálu a procesních kapalin

Experimenty budou prováděny na frézce FNG 32. Pro čelní frézování bude použita fréza NAREX 2460.12 o průměru  $D = 63 \text{ mm}$  s vyměnitelnou břitovou destičkou SNUN 120412; 8230 od firmy Pramet Tools, s.r.o. a další potřebné přístroje a pomůcky. Při realizaci experimentů budou zapotřebí tyto měřicí přístroje: refraktometr Optech Brix RLC/AT a laboratorní profilometr MITUTOYO SV – 2000 N2, který bude použit k měření drsnosti povrchu. Všechny tyto stroje, přístroje a měřicí zařízení se nacházejí v laboratoři KOM TU v Liberci.

Frézovaným materiálem bude slitina hliníku ČSN 42 4254 - Hliník AlCu4BiPb. Tato slitina hliníku, zvaná dural, je vhodná pro obrábění na automatech, neboť tvoří krátkou třísku a její využití je vhodné pro jemnou mechaniku, optiku apod. Chemické složení této slitiny je následující: 1% Si + 1% Fe + 3-5% Cu + 0,3-1,5%M+ 0,4-1,5% Mg + 0,7% Zn + 0,3% Ni + ostatní (Fe+Bi 0,5-1,5% a Sn+Cd 0,4%).

Zkoumaný vliv procesních kapalin na drsnost povrchu slitiny hliníku bude prověřován u procesních kapalin od světových výrobců a jsou to tyto kapaliny: Blasocut Kombi 35, Cimstar 620, Hocut 795B, Vasco 1000, Zubora Universal, Zubora 65H Ultra a Zubora 20H Extra.

#### 6.1.1 Obráběcí stroj

Čelní frézování slitiny hliníku bude realizováno na frézce FNG 32 od firmy TOS Olomouc, s.r.o., která je zobrazena na obrázku 10. Frézka se nachází v laboratoři třískových technologií katedry obrábění a montáže TU v Liberci. Technické parametry stroje FNG 32 jsou uvedeny v tabulce 3.

#### 6.1.2 Výměnná břitová destička

Obráběcím nástrojem bude fréza NAREX 2460.12, v níž bude upnuta jedna vyměnitelná břitová destička od firmy Pramet Tools, s.r.o., která je zobrazena na obrázku 11., s označením SNUN 120412; 8230. Tato VBD je vhodná pro veškeré druhy obráběných materiálů a její využití je pro středně velké řezné rychlosti.



Obr. 10. Frézka FNG 32

Tab. 3. Technické parametry frézky FNG 32 (dle [6])

Frézka FNG 32		
Charakteristika	Hodnota	Jednotky
Rozměr pracovní plochy stroje	800 x 400	[mm]
Maximální zatížení stolu	350	[kg]
Pracovní zdvih podélný	600	[mm]
Pracovní zdvih příčný, svislý	400	[mm]
Posuv X, Y	15 - 1000	[mm/min]
Posuv Z	6 - 400	[mm/min]
Rychloposuv X, Y	2000	[mm/min]
Rychloposuv Z	800	[mm/min]
Rozsah otáček vřetena	50 - 4000	[ot/min]
Počet rychlostních stupňů vřetena	2	[°]
Natočení vertikálního vřetena	±90	[°]
Výkon hlavního motoru vertikálního vřetena	4	[kW]
Výkon posuvného motoru vertikálního vřetena	1,1	[kW]
Celkový příkon stroje	22	[kVA]
Hmotnost stroje	2500	[kg]
Zastavěná plocha	2070 x 2120	[mm]
Výška stroje	2115	[mm]



Obr. 11. Břítové destičky od firmy Pramet Tools, s.r.o.

### 6.1.3 Refraktometr

Refraktometr, který je zobrazen na obr. 12., slouží k měření koncentrace procesní kapaliny ve vodě. Toto zařízení Optech Brix RLC/ATC má rozsah 0 – 18% a přesnost 0,1%.



Obr. 12. Refraktometr Optech Brix RLC/ATC

### 6.1.4 Laboratorní profilometr MITUTOYO

Profilometr MITUTOYO SV – 2000 N2 (viz obr. 13.) je dotykové zařízení k měření drsnosti povrchu. Vyhodnocení výsledků se provádí počítačovým softwarem SURFPAK 1.100. Výstupem z tohoto programu je textová i grafická forma, jež je zobrazena na obrázku 14.





Obr. 13. Profilometr MITUTOYO SV – 2000

## 6.2 Příprava zkušebních vzorků, procesních kapalin a stroje

### 6.2.1 Příprava zkušebních vzorků

Pro experimentální část této bakalářské práce bude použita slitina hliníku ČSN 424254 – Hliník AlCu4BiPb. Z polotovaru budou postupně nařezány zkušební vzorky ve tvaru kvádru o rozměrech 32x32x19 mm.

### 6.2.2 Příprava procesních kapalin

Pro realizaci experimentů a následný výzkum budou připraveny tyto procesní kapaliny od světových výrobců: Blasocut Kombi 35, Cimstar 620, Hocut 795B, Vasco 1000, Zubora Universal, Zubora 65H Ultra a Zubora 20H Extra. Všechny procesní kapaliny budou naředěny vodou na 5% hodnotu roztoku. Při ředění se bude vycházet z rovnice:  $SK = K * RK$ , kde SK je skutečná hodnota koncentrace, K je refrakční index a RK je koncentrace naměřená refraktometrem. Hodnoty jednotlivých refrakčních indexů

a výsledek koncentrace jsou v tabulce 4. V našem případě bude rovnice vypadat následovně:  $RK = 5/K$ .

Tab. 4. Procesní kapaliny, refrakční index a naměřená koncentrace na refraktometru

Kapalina	Druh procesní kapaliny	Refrakční index K	Naměřená koncentrace RK
Blasocut Kombi 35	Emulzní kapalina	1,0	5,00
Cimstar 620	Syntetická kapalina	1,4	3,60
Hocut 795B	Syntetická kapalina	1,0	5,00
Vasco 1000	Emulzní kapalina na rostlinné bázi	1,0	5,00
Zubora 20H Extra	Emulzní kapalina	1,1	4,55
Zubora Universal	Emulzní kapalina	1,1	4,55
Zubora 65H Ultra	Polosyntetická kapalina	1,3	3,85

### 6.2.3 Příprava stroje

Příprava stroje je důležitou částí experimentu, proto bude frézka FNG 32 řádně očištěna od předchozího použití, aby nedošlo k pomíchání různých druhů třísek, a také musí být vypláchnut chladicí systém. Do chladicí soustavy bude poté nalita konkrétní procesní kapalina o správné koncentraci. Na stůl frézky bude upevněn svěrák, na němž bude černým fixem označeno místo, kde bude upnut zkušební vzorek, aby se zamezilo při opakování novému nastavení dotyku frézy se zkušebním vzorkem. Následně bude upnuta do stroje fréza NAREX 2460.12 s již vloženou vyměnitelnou břitovou destičkou SNUN 120412; 8230 od firmy Pramet Tools, s.r.o. Poté bude následovat vlastní frézování zkušebních vzorků. Zkušební vzorky budou frézovány za těchto řezných podmínek, které byly konzultovány s prof. Popovem, a na základě jeho zkušeností byly zvoleny tyto řezné podmínky:

- řezná rychlost  $v_c = 395,64 \text{ m/min}$ ,
- otáčky vřetene  $n = 2000 \text{ ot/min}$ ,
- posuv  $f_m = 200 \text{ mm/min}$ ,
- posuv na zub  $f_z = 0,1 \text{ mm}$ ,
- hloubka záběru  $a_p = 1,0 \text{ mm}$ .

Za těchto řezných podmínek by měl vzniknout dostatečně kvalitní povrch, a zároveň by se neměl vytvářet nežádoucí nárůstek, který by mohl povrch poškodit. Návrh metodiky experimentů je shrnut do tabulky 5.

Tabulka 5. Podmínky experimentu

Metodika experimentu						
Měření provedli: Toman, Šimek, prof. Popov						
Operace:	frézování	Zkušební vzorek:	ČSN 42 4254 - AlCu4BiPb			
Způsob:	čelní	Rozměry:	32x32x19 [mm]			
Nástroj:	Firma:	Označení:	Stroj:			
Frézovací hlava	Narex	2460.12	Konzolová frézka svislá FNG 32			
VBD	Pramet	SNUN 120412; 8230	TOS Olomouc			
Podmínky experimentu			Procesní kapaliny			
Řezní podmínky:	Hodnota	Jednotky	Vzorek č.	Druh	Koncen.	Jedn.
Otáčky:	2000	ot/min	1	Blasocut Kombi 35	5	%
Řezná rychlost:	395,64	m/min	2	Cimstar 620	5	%
Posuv na zub:	0,1	mm	3	Hocut 795B	5	%
Rychlost posuvu:	200	mm/min	4	Vasco 1000	5	%
Hloubka záběru:	1,0	mm	5	Zubora 20H Extra	5	%
Průměr frézy	64	mm	6	Zubora Universal	5	%
Teplota PK	21	°C	7	Zubora 65H Ultra	5	%
Měření drsnosti						
Stroj:			MITUTOYO SV – 2000 N2			
Měřené parametry:			Ra	Rz	C <sub>tp50</sub>	
Jednotky			μm	μm	μm	

### 6.3 Příprava měření drsnosti obrobené plochy

Vliv procesních kapalin na kvalitu obrobeného povrchu při čelním frézování slitiny hliníku bude zkoumán z pohledu drsnosti obrobené plochy. Drsnost bude měřena na všech sedmi zkušebních vzorcích, které budou obrobena za stejných řezných podmínek, stejným nástrojem. Měření se bude realizovat v laboratoři katedry obrábění a montáže na profilometru MITUTOYO SV – 2000 N2 a měřenými parametry budou Ra, Rz a c<sub>tp50</sub>, které již byly vysvětleny v kapitole 5.2 Parametry měření drsnosti povrchu. Program SURFPAK, který zpracovává data z měření drsnosti, nám pomůže s vyhodnocením. Výstupem programu je tabulka, která je zobrazena na obrázku 14. Tato tabulka zpracuje mnoho různých parametrů drsnosti, ale zobrazí i profilovou křivku a Abbotovu křivku, které nám pomohou s vyhodnocením vlivu procesních kapalin.

Měření drsnosti budeme provádět desetkrát na každém ze sedmi zkušebních

vzorků. Naměřené hodnoty budeme statisticky zpracovávat. Pro statistické zpracování budeme potřebovat aritmetický průměr  $\bar{x}$ , který je určen podílem součtu naměřených hodnot  $x_i$  a počtu prováděných měření  $k$  podle vztahu (1).

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^k x_i}{n} \quad (1)$$

Další potřebný údaj pro statistické vyhodnocení bude interval spolehlivosti měření. Statistický interval spolehlivosti se určí jako interval, v rámci kterého jsou výsledky dalšího zkušebního testu umístěné s předpokládanou pravděpodobností. Statistický interval spolehlivosti se určí podle dvojice následujících vztahů (2) a (3):

$$\bar{x}_{max} = \bar{x} + t_{\alpha,k-1} \cdot \frac{s}{\sqrt{k-1}}, \quad (2)$$

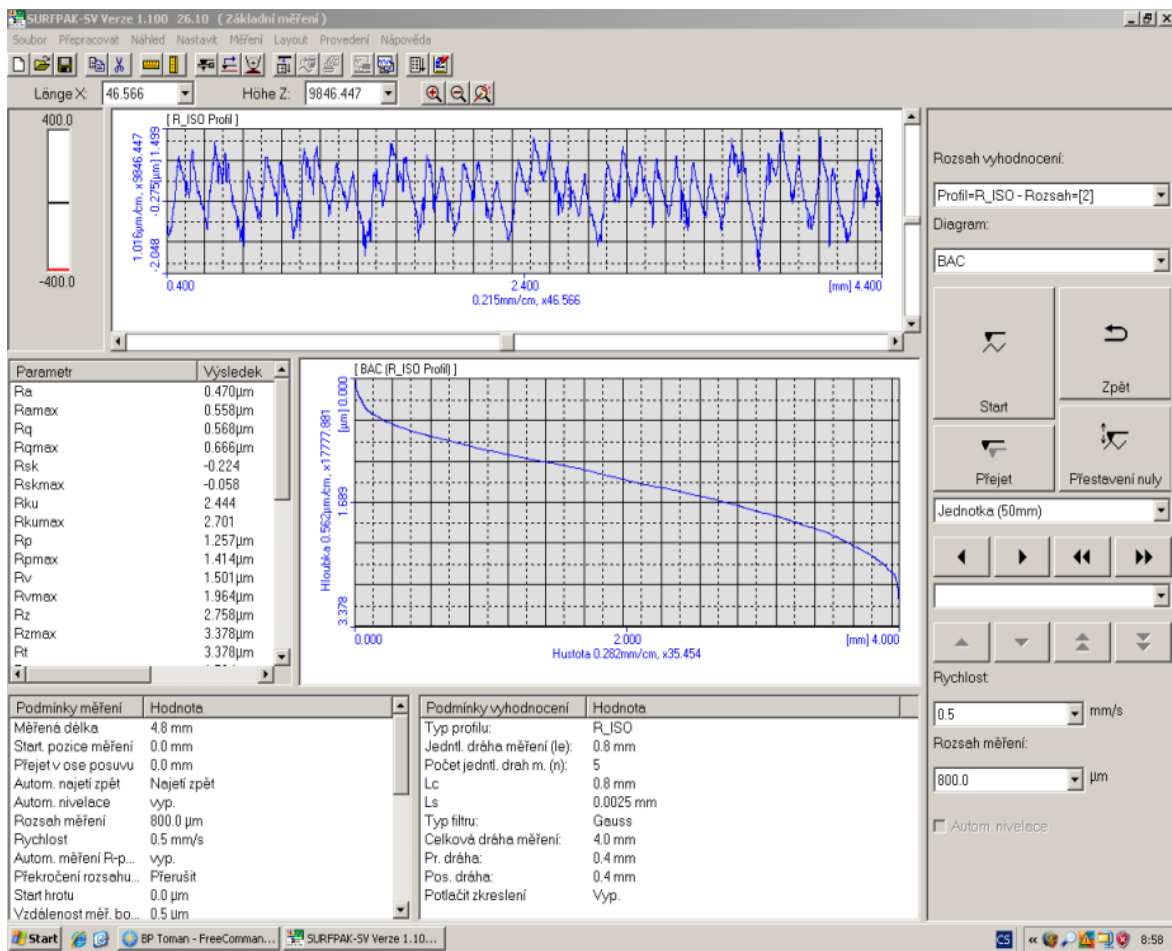
$$\bar{x}_{min} = \bar{x} - t_{\alpha,k-1} \cdot \frac{s}{\sqrt{k-1}}, \quad (3)$$

kde  $\bar{x}$  je aritmetický průměr,  $t_{\alpha,k-1}$  je hodnota kritického rozdělení a  $s$  je výběrová směrodatná odchylka [15], [16].

## 6.4 Příprava hodnocení druhu třísek

Vliv procesních kapalin bude také posuzován z hlediska druhu třísek, které při čelním frézování vznikají. Vzorky třísek jednotlivých zkušebních vzorků budou odebrány bezprostředně po obrábění a všechny třísky vzniknou za stejných řezných podmínek (viz tab. 5). Tyto třísky budou vyhodnoceny podle normy ISO 3685 (viz tab. 2).





Obr. 14. Výstup programu SURFPAK

## 7 Realizace experimentů

### 7.1 Metodika přípravy procesních kapalin

Z tabulky 4. na straně 24. již známe potřebnou koncentraci RK, kterou musíme naměřit na refraktometru. Nyní se provedlo smíchání procesních kapalin na požadovanou koncentraci SK = 5%.

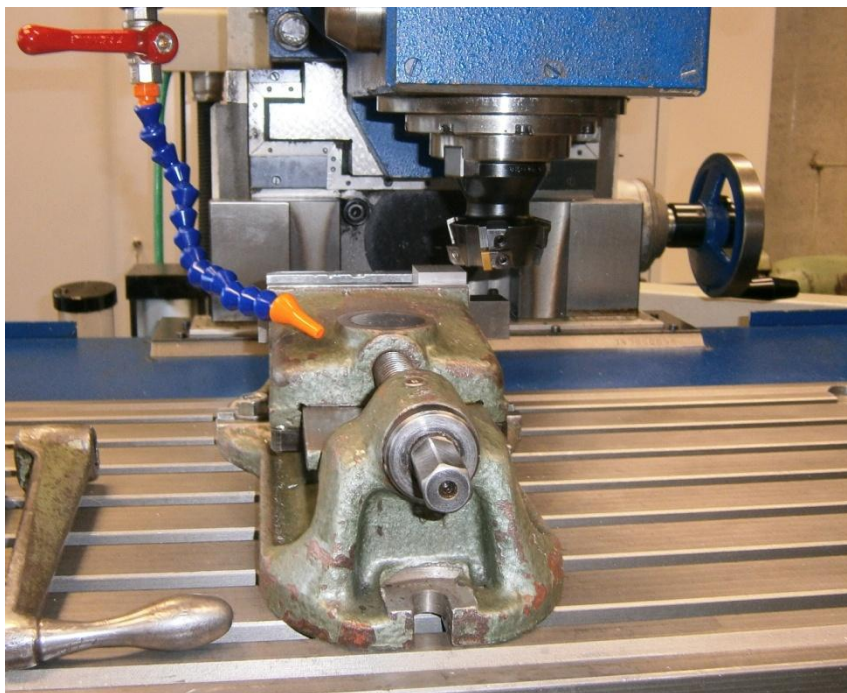
**Postup míchání procesní kapaliny byl následující:**

- nalití vody do barelu,
- smíchání procesní kapaliny s vodou,
- promíchání, aby došlo ke smíchání procesního média,
- nanesení smíchaného roztoku ve formě kapiček na sklíčko refraktometru,
- odečtení hodnoty koncentrace v přední části refraktometru, který byl naměřen na světlo,
- označení barelu danou procesní kapalinou, aby nedošlo k záměně procesních kapalin mezi sebou.

Pokud nebyla zjištěna správná koncentrace, přidala se do barelu buď voda, při vyšší koncentraci, nebo procesní kapalina, při nižší koncentraci, a celý postup se opakoval. Pokud již byla zjištěna na refraktometru správná hodnota koncentrace, byla takto připravená procesní kapalina použita k experimentu.

### 7.2 Frézování slitiny hliníku

Před zahájením experimentů bylo provedeno seřízení stroje a jeho příslušenství. Na frézce bylo již původní nastavení vřetene, kde osa vřetene svírá 90° se stolem frézky. Aby nedošlo ke kontaktu břitu nástroje s obrobenou plochou, muselo být vřeteno vyoseno přibližně o půl stupně po směru hodinových ručiček. Do svěráku byl upnut zkušební vzorek číslo 1., který musel být podložen ocelovou destičkou. Zkušební vzorek zároveň sloužil k seřízení dotyku frézy s materiálem (viz obr. 15.). Nastavení dotyku, které bylo poté uloženo do stroje jako výchozí postavení stolu a frézy, bylo shodné pro všechna ostatní měření. K čelnímu frézování slitiny hliníku byly použity stejné řezné podmínky, které již byly navrhnuty v kapitole 6.2.3 Příprava stroje.



Obr. 15. Upnutý zkušební vzorek před zahájením experimentu

**Vlastní měření se provádělo podle následujícího postupu:**

- upnutí zkušební vzorku do svěráku na stále stejné umístění (viz kap. 6.2.3 Příprava stroje),
- naplnění chladicí soustavy danou procesní kapalinou,
- zapnutí otáček včetně frézky a přívodu procesní kapaliny viz obr. 16.,
- najetí frézou do záběru a spuštění posuvu stolu,
- vlastní frézování je ukončeno po ujetí dráhy nástroje přes celý zkušební vzorek,
- odjetí ze záběru a přejetí frézy do výchozí polohy viz obr. 17.,
- vypnutí otáček včetně frézy,
- sesbírání několika třísek ze zkušební vzorku a označení třísek,
- uvolnění zkušební vzorku ze svěráku, očištění a řádné označení zkušební vzorku.

Tento vlastní postup měření se postupně opakoval pro všech sedm zkušebních vzorků stejného materiálu, pouze se měnila procesní kapalina. Před každým novým měřením se čistila chladicí soustava vodou, aby nedošlo ke smíchání procesních kapalin. Dále následovalo očištění stroje od zbytku třísek.



Obr. 16. Přívod procesní kapaliny a zahájení experimentu frézování



Obr. 17. Odfrézovaný zkušební vzorek po najetí do výchozí polohy



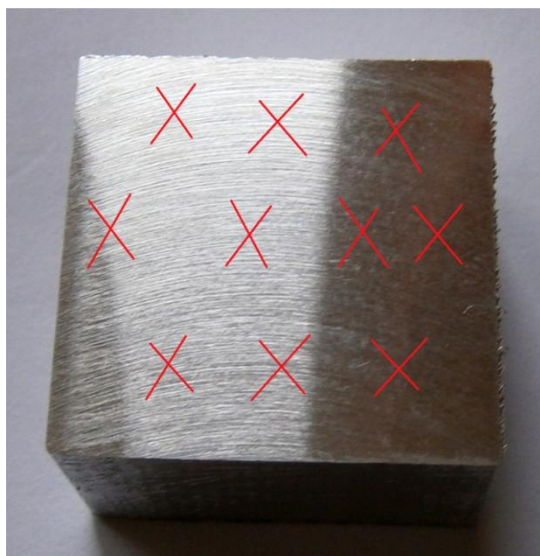
### 7.3 Měření parametru drsnosti obrobené plochy

Měření drsnosti následovalo po odfrézování všech sedmi zkušebních vzorků slitiny hliníku. Vlastní měření se provádělo na deseti různých místech zkušebního vzorku, která jsou označena na obr. 18. Před samotným měřením se nejprve provedla tato příprava: zapnout počítač a přístroj MITUTOYO SV – 2000 N2, očistit dosedací plochu, kam se ukládal zkušební vzorek, a na PC zapnout program SURFPAK.

#### Postup vlastního měření:

- uložení zkušebního vzorku na dosedací plochu,
- nastavení výchozí polohy přístroje nad zkušebním vzorkem,
- najetí přístrojem na dotek,
- spuštění měření tlačítkem Start v programu SURFPAK,
- čekání po dobu měření,
- odjetí přístrojem do výchozí polohy,
- spuštění vyhodnocení v programu SURFPAK,
- uložení do paměti PC záznam měření z programu SURFPAK a řádné označení čísla měření drsnosti.

Výsledky měření jsou zapsány do tabulek a graficky znázorněny v následující kapitole.



Obr. 18. Místa měření drsnosti

## **7.4 Hodnocení druhu třísek**

Třísky slitiny hliníku, které byly odebrané po frézování, byly vyfotografovány a vloženy do společné tabulky pro vyhodnocení druhu třísky. Vyhodnocení druhu třísky se provedlo vizuálně podle tabulky 2., ve které jsou znázorněny všechny druhy třísek podle normy ISO 3685. Podle vzájemné podobnosti byl určen typ třísky.

## 8 Vyhodnocení experimentu

Cílem této bakalářské práce bylo porovnat procesní kapaliny od světových výrobců, které byly použity při čelním frézování slitiny hliníku. Podle jejich vlivu na drsnost povrchu byly tyto kapaliny porovnány mezi sebou. Dalším zkoumaným vlivem procesních kapalin na proces frézování slitiny hliníku bylo zjišťování tvaru třísky.

### 8.1 Vliv procesních kapalin na drsnost povrchu

Procesní kapaliny od světových výrobců byly mezi sebou porovnávány z pohledu drsnosti obrobené plochy. Měření bylo provedeno na všech sedmi zkušebních vzorcích, na deseti předem definovaných místech, a zkoumané parametry byly  $R_a$ ,  $R_z$  a  $c_{tp50}$ . Vzhledem k vlastnostem procesních kapalin se dalo již od začátku předpokládat, že rozdíly ve výsledcích budou minimální.

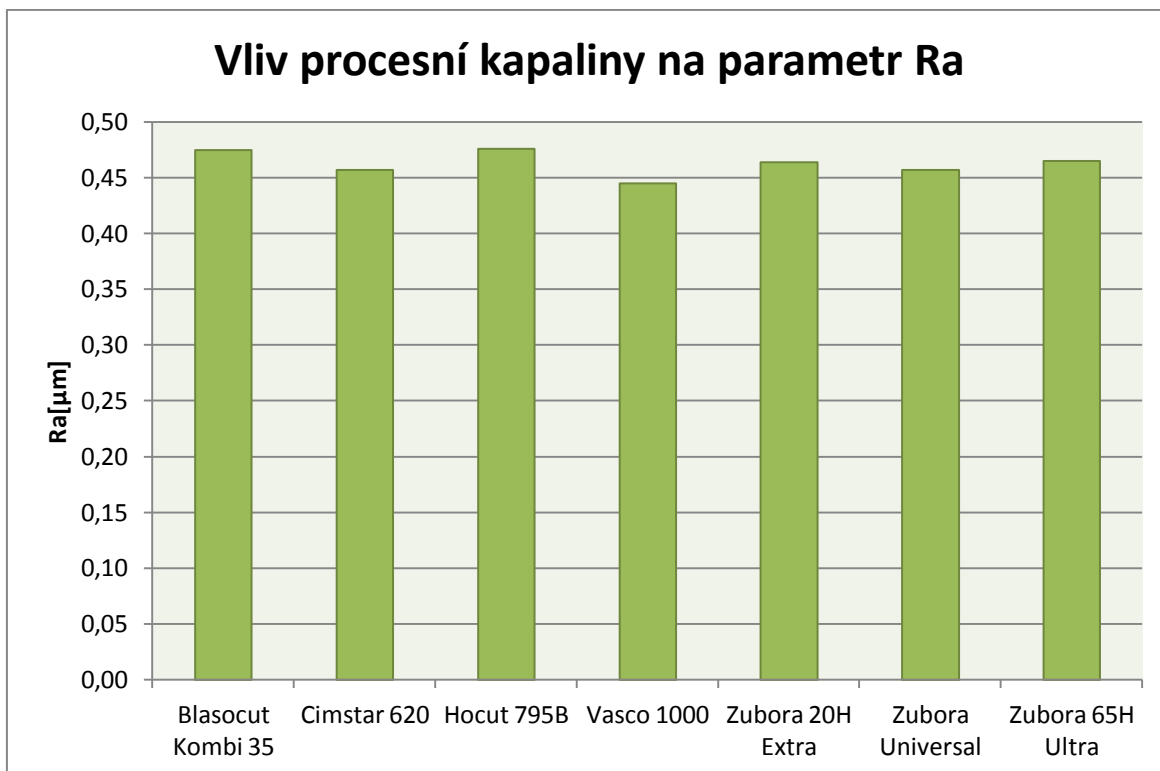
#### 8.1.1 Vliv procesních kapalin na parametr $R_a$

Vliv procesních kapalin na parametr drsnosti  $R_a$ , což je střední aritmetická úchylka profilu, je prvním hodnotícím kritériem. Číselné hodnoty, které byly naměřeny, jsou zobrazeny v tabulce 7. a graf 1. znázorňuje tyto hodnoty pro lepší porovnání mezi sebou.

Tab. 7. Výsledné hodnoty měření na parametr  $R_a$

Procesní kapalina	$R_a$ [ $\mu\text{m}$ ]
Blasocut Kombi 35	$0,48 \pm 0,02$
Cimstar 620	$0,46 \pm 0,03$
Hocut 795B	$0,48 \pm 0,02$
Vasco 1000	$0,45 \pm 0,02$
Zubora 20H Extra	$0,46 \pm 0,03$
Zubora Universal	$0,46 \pm 0,03$
Zubora 65H Ultra	$0,47 \pm 0,01$

Nejvyšší drsnost  $R_a$  a zároveň nejhorší povrch byl zaznamenán u zkušebních vzorků, které byly frézovány za použití procesních kapalin Hocut 795B a Blasocut Kombi 35. Naopak nejkvalitnější povrch a tedy nejnižší zaznamenanou hodnotu  $R_a$  vykazoval zkušební vzorek, který byl frézován za použití procesní kapaliny Vasco 1000. Procentní rozdíl mezi nejvyšší a nejnižší hodnotou drsnosti  $R_a$  byl 6,3 %.



Graf 1. Vliv procesních kapalin na parametr drsnosti Ra

Druhou nejnižší drsnost vykazovaly zkušební vzorky, které byly obráběny při použití Cimstar 620, Zubora 20H Extra a Zubora Universal. Rozdíl mezi naměřenými hodnotami u těchto kapalin a naměřenou hodnotou u procesní kapaliny Vasco 1000 je zanedbatelný, činí pouze 2,2 %. Ostatní procesní kapaliny vykazovali téměř totožné hodnoty drsnosti parametru Ra.

#### 8.1.2 Vliv procesních kapalin na parametr Rz

Vliv procesních kapalin na parametr drsnosti Rz, což je největší výška nerovnosti profilu, je druhým hodnotícím kritériem, který byl použit u měření drsnosti povrchu. Tyto naměřené hodnoty jsou uvedeny v tabulce 8. a graf 2. zobrazuje tyto hodnoty pro lepší porovnání mezi sebou.

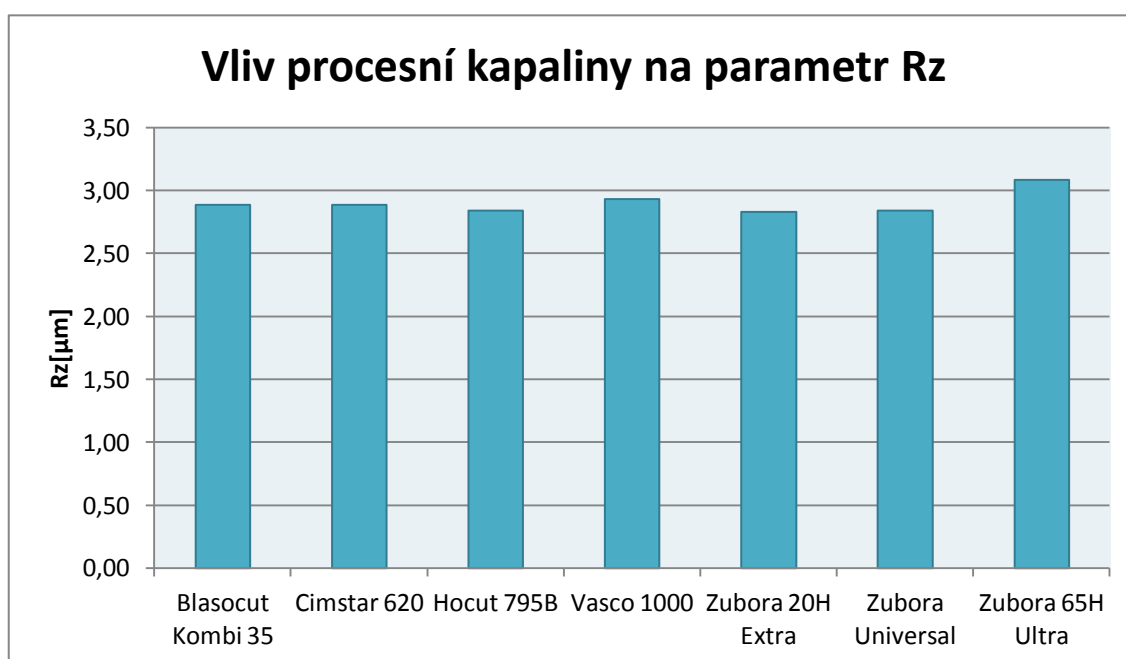
Nejkvalitnější povrch a zároveň nejmenší zaznamenaná hodnota byla naměřena u zkušebního vzorku, který byl frézován při použití procesní kapaliny Zubora 20H Extra. Nejhorší a nejvyšší zaznamenaná hodnota byla na zkušebním vzorku obráběném při použití procesní kapaliny Zubora 65H Ultra. Rozdíl mezi maximální a minimální hodnotou je 8,1 %.



Tab. 8. Výsledné hodnoty měření na parametr Rz

Procesní kapalina	Rz [ $\mu\text{m}$ ]
Blasocut Kombi 35	2,89 $\pm$ 0,22
Cimstar 620	2,89 $\pm$ 0,17
Hocut 795B	2,84 $\pm$ 0,21
Vasco 1000	2,93 $\pm$ 0,22
Zubora 20H Extra	2,83 $\pm$ 0,25
Zubora Universal	2,84 $\pm$ 0,17
Zubora 65H Ultra	3,08 $\pm$ 0,17

Druhou nejlepší hodnotu vykazovaly zkušební vzorky, které byly frézovány při použití procesních kapalin Zubora Universal a Hocut 795B. Rozdíl mezi první a druhou nejlepší hodnotou je jen 0,4 %, tedy minimální. Ostatní procesní kapaliny v průměru vykazovaly téměř totožné hodnoty parametru Rz.



Graf 2. Vliv procesních kapalin na parametr drsnosti Rz

### 8.1.3 Vliv procesních kapalin na parametr $c_{tp50}$

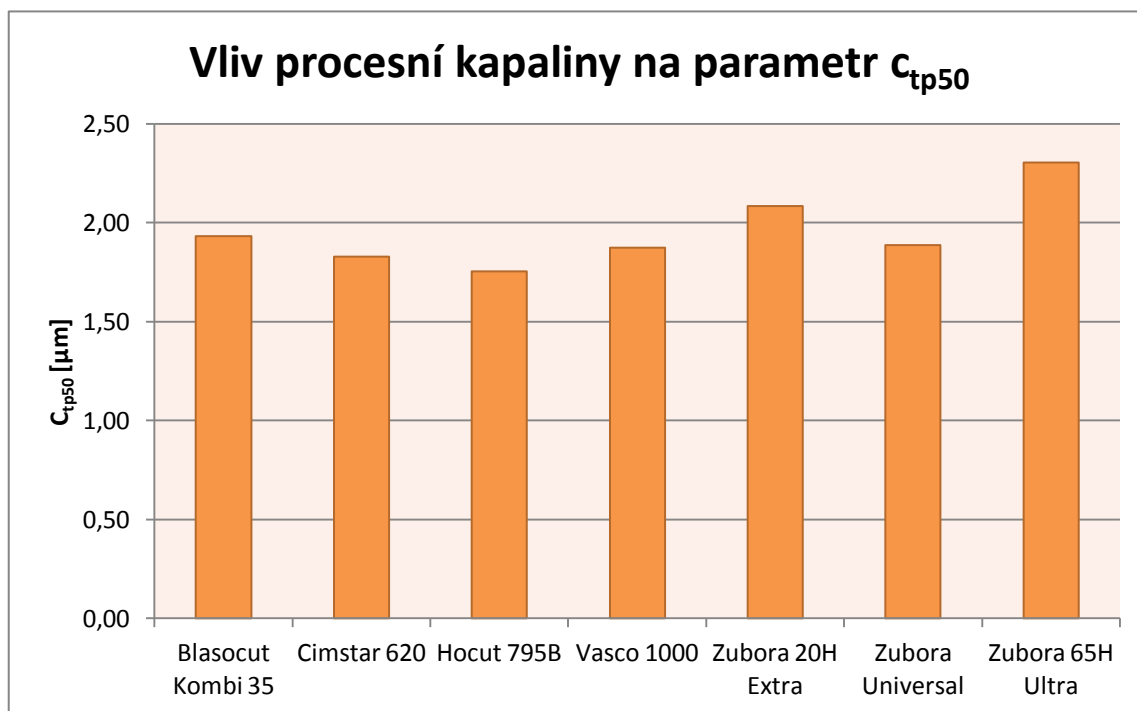
Procesní kapaliny byly posuzovány podle parametru  $c_{tp50}$ , což je číselný parametr, který vyjadřuje číselnou hodnotu hloubky posuzovaného profilu (od nejvyššího výstupku profilu), ve které je podíl materiálu a vzduchu 1:1 (50% materiálu a 50% vzduchu). Tyto hodnoty byly zjištěny pomocí materiálového podílu profilu. Výsledky měření jsou

zobrazeny v tabulce 9. a graf 3. zobrazuje tyto číselné hodnoty pro lepší porovnání mezi sebou.

Tab. 9. Výsledné hodnoty měření na parametr  $c_{tp50}$

Procesní kapalina	$c_{tp50}$ [ $\mu\text{m}$ ]
Blasocut Kombi 35	$1,93 \pm 0,53$
Cimstar 620	$1,83 \pm 0,30$
Hocut 795B	$1,75 \pm 0,41$
Vasco 1000	$1,87 \pm 0,50$
Zubora 20H Extra	$2,08 \pm 0,74$
Zubora Universal	$1,89 \pm 0,37$
Zubora 65H Ultra	$2,30 \pm 0,66$

Nejlepší zaznamenaná hodnota parametru  $c_{tp50}$  byla zjištěna u zkušební vzorku, který byl frézován při použití procesní kapaliny Hocut 795B. Naopak nejhorší naměřená hodnota byla zjištěna u procesní kapaliny Zubora 65H Ultra. Rozdíl mezi nejmenší a největší hodnotou je 23,9 %. Druhý nejlepší povrch vykazoval zkušební vzorek obráběný při použití procesní kapaliny Cimstar 620. Rozdíl mezi naměřenou hodnotou u procesní kapaliny Hocut 795B a Cimstar 620 je 4,4 %. U procesních kapalin Blasocut Kombi 35, Vasco 1000 a Zubora Universal jsou výsledky téměř stejné, a rozdíly oproti nejhorší procesní kapalině jsou průměrně 6,9 %.







Graf 3. Vliv procesních kapalin na parametr drsnosti  $c_{tp50}$

## 8.2 Vliv procesních kapalin na druh vzniklých třísek

Vliv procesních kapalin na druh vzniklých třísek byl hodnocen u procesních kapalin od světových výrobců. Tyto třísky byly odebrány bezprostředně po čelním frézování slitiny hliníku. Jejich vyhodnocení bylo provedeno podle normy ISO 3685, která je definována tabulkou 2. a dělí třísky do skupin a podskupin při obrábění. Fotografie vzniklých třísek jsou v souhrnné tabulce 10.

Tab. 10. Vzniklých třísek při čelním frézování slitiny hliníku

Blasocut Kombi 35	Cinstar 620
	
Hocut 795B	Vasco 1000
	



Podle porovnání s normou ISO 3685 vznikla tab. 11., která zobrazuje výsledky měření.

Tab. 11. Výsledných druhů třísek

Procesní kapaliny	Druh třísky
Blasocut Kombi 35	Obloukovité třísky dělené
Cinstar 620	Obloukovité třísky dělené
Hocut 795B	Obloukovité třísky dělené
Vasco 1000	Obloukovité třísky dělené
Zubora 20H Extra	Obloukovité třísky dělené
Zubora Universal	Obloukovité třísky dělené
Zubora 65H Ultra	Obloukovité třísky dělené

Z tabulky 11. je patrné, že třísky, které vznikly při čelním frézování slitin hliníku, jsou téměř stejné. U všech zkoumaných procesních kapalin od světových výrobců bylo zjištěno, že se při čelním frézování tvoří obloukovitá tříska dělená.

## 9 Závěr

Úkolem této bakalářské práce bylo zjištění vlivu procesních kapalin na proces čelního frézování slitiny hliníku. Vliv procesních kapalin byl posuzován z hlediska drsnosti povrchu a výsledného tvaru třísek po obrábění. Pro tento výzkum byly použity procesní kapaliny od různých světových výrobců, kterými jsou tyto procesní kapaliny: Blasocut Kombi 35, Cimstar 620, Hocut 795B, Vasco 1000, Zubora Universal, Zubora 65H Ultra a Zubora 20H Extra. Drsnost povrchu slitiny hliníku byla posuzována podle parametrů  $R_a$ ,  $R_z$  a  $c_{tp50}$ .

Z výsledků experimentů je možné učinit následující závěry.

U parametru drsnosti  $R_a$  byl nejlepší povrch zaznamenán u vzorku, jenž byl obráběn za použití procesní kapaliny Vasco 1000. Naopak nejhorší kvalita povrchu byla zjištěna u vzorku obráběného za přívodu procesní kapaliny Hocut 795B. Procentuální rozdíl mezi nejhorší a nejlepší naměřenou hodnotou činil 6,3 %.

Dalším zkoumaným parametrem drsnosti byl parametr  $R_z$ , u něž byla nejlepší hodnota naměřena při použití procesní kapaliny Zubora 20H Extra, a nejhorší povrch byl zaznamenán u zkušební vzorku, u něž bylo použito procesní médium Zubora 65H Ultra. Procentuální rozdíl mezi maximální a minimální hodnotou činil 8,1 %.

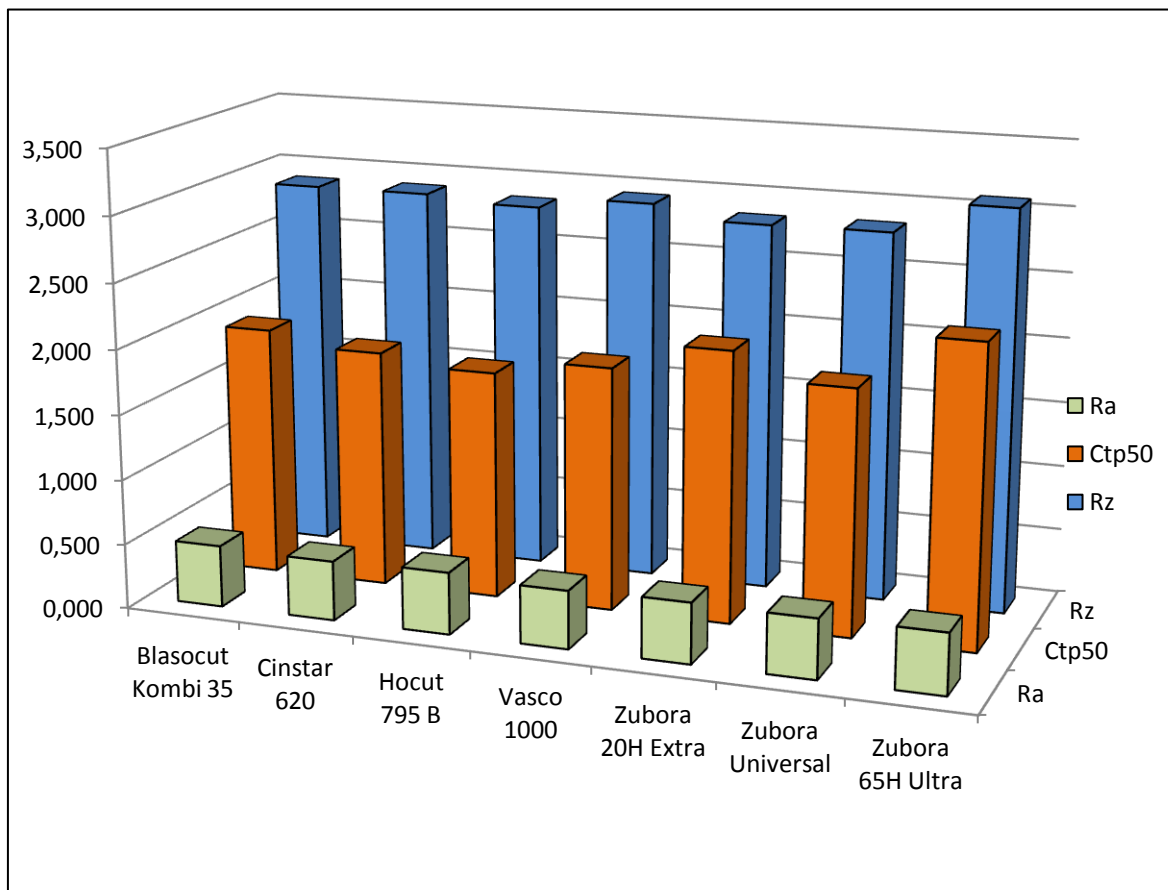
Při zkoumání parametru drsnosti  $c_{tp50}$  byla nejhorší kvalita povrchu zaznamenána u zkušební vzorku obráběného při použití Zubora 65H Ultra, a naopak nejlepší drsnost vykazoval zkušební vzorek při použití procesní kapaliny Hocut 795B. Jejich procentuální rozdíl mezi největší a nejmenší naměřenou hodnotou byl 23,9 %.

Pro názorné srovnání všech posuzovaných procesních kapalin byl vytvořen souhrnný graf (viz graf 4.), jenž ukazuje výsledky měření drsnosti povrchu při použití různých procesních kapalin. Z tohoto grafu je patrné, že nejlepších výsledků dosahuje procesní kapalina Hocut 795B, která se nejlépe osvědčila zejména u parametru  $c_{tp50}$ , ze kterého získáváme významný údaj o drsnosti povrchu. Jedná se o syntetickou procesní kapalinu, která je určena pro obrábění slitin hliníku, má dlouhou životnost a nezanechává stopy na hliníku.

Za nejhorší procesní kapalinu pro frézování slitiny hliníku můžeme označit Zuboru 65H Ultra. Tato polosyntetická procesní kapalina vykazovala nejhorší výsledky ve



všech zkoumaných parametrech drsnosti. Zubora 65H Ultra je vhodná pro složité obrábění a její přísady umožňují vysokou trvanlivost nástrojů a zároveň je její použití vhodné při vysokých rychlostech.



Graf. 4. Vliv procesních kapalin na jednotlivé parametry drsnosti

Z výsledků experimentu je patrné, že procesní kapaliny nemají příliš velký vliv na drsnost povrchu u slitiny hliníku. Lze tak usoudit, protože rozdíly naměřených hodnot mezi nejhoršími a nejlepšími procesními kapalinami jsou velmi malé, v průměru je to 12,3 %. Z toho, co víme o obrábění slitin hliníku, to není až tak velké překvapení, protože pokud se zvolí dobré řezné podmínky, nemůže se tvořit nárůstek a vznikne tak frézováním kvalitní povrch.

Dalším úkolem této bakalářské práce bylo posouzení vlivu procesních kapalin na tvorbu tvaru třísky při frézování slitiny hliníku. Z výsledků je jasně zřejmé, že procesní kapaliny nemají příliš významný vliv na tvorbu třísky, jelikož ve všech případech se při čelním frézování vytvořila obloukovitá tříska dělená. Tato tříska je ovšem vhodná pro strojírenskou praxi, protože jsou z hlediska skladování odpadu výhodné. Vznikají zde však

problémy při čištění, jelikož tento druh třísek zapadá do všech mezer stroje.

Závěrem lze konstatovat, že výsledky této bakalářské práce dokazují, že procesní kapaliny od světových výrobců nemají přílišný vliv na drsnost a tvar třísek po frézování slitiny hliníku.

Tuto bakalářskou práci by bylo vhodné do budoucna rozšířit o jinou slitinu hliníku. Zároveň by bylo zajímavé zjistit, jaké výsledky budou při jiném způsobu přívodu procesní kapaliny do řezu. A samozřejmě i vyzkoušet jiné řezné podmínky, které by pomohly s řešením problematiky frézování slitiny hliníku.

Tato bakalářská práce souvisí s řešením výzkumného projektu, který je realizován na Katedře obrábění a montáže TU v Liberci pro společnost PARAMO, a.s. Jedná se o projekt TAČR – TA02021332, který je zaměřen na ekologické obráběcí kapaliny nové generace.



## Seznam použité literatury

- [1] SANDVIK Coromant, Sandviken: *Příručka obrábění - kniha pro praktiky*.  
Překlad M. Kudela, - . vyd. 1997. 800 s. ISBN 91-972299-4-6
- [2] DRÁB, V. a kolektiv. *Technologie 1*. Liberec: TUL, 1979. [online]. 2013  
[cit. 2013-12-22], Dostupné z: [http://www.kom.tul.cz/soubory/tob\\_skr.pdf](http://www.kom.tul.cz/soubory/tob_skr.pdf)
- [3] KRÍŽ, Antonín. aj. *Obrábění slitiny AlSi1Mg0,5Mn nástroji s progresivními tenkými vrstvami*. Plzeň: ZČU, 2007. [online]. 2013 [cit. 2013 - 12 - 24], Dostupné z: [http://www.ateam.zcu.cz/download/prispevek\\_Aluminium07.pdf](http://www.ateam.zcu.cz/download/prispevek_Aluminium07.pdf)
- [4] MICHNA, Š., aj. *Encyklopedie hliníku*. Rec. E. Durová, B. Voldán. 1. vyd. Prešov: Adin s.r.o., 2005. 700 s. ISBN 80-890-4188-4.
- [5] HUMÁR, A., *Technologie 1*. Brno: VUT, 2003. [online]. 2013 [cit. 2014-1-2],  
Dostupné z: [http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI\\_TO-1cast.pdf](http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-1cast.pdf)
- [6] STRYAL, J. *Hodnocení vlivu procesních kapalin na technologii čelního frézování antikorozní oceli*. [Diplomová práce]. Liberec, TU v Liberci, 2013. 53 s.
- [7] BÁTORA, B., VASILKO, K. *Obrobené povrchy, technologická dědičnost, funkčnost*. 1. vyd. Trenčín: Trenčianska univerzita a GC Tech – Ing. Peter Gerši, 2000. 184 s. ISBN 80-88914-19-1
- [8] BEZDÍČEK, T. *Vliv procesních kapalin firmy PARAMO, a.s. na velikost řezných sil při čelním frézování*. [Bakalářská práce]. Liberec, TU v Liberci, 2013. 53 s.
- [9] ŘASA, J., *Chlazení nástrojů*. MM Průmyslové Spektrum, 2009. [online].  
[cit. 2014 – 2 – 20], Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/chlazení-nastroju-stale-aktualni-problem.html>
- [10] HOFMANN, P., *Obrábění za sucha či ne?*, MM Průmyslové Spektrum, 2001. [online]  
[cit. 2014 – 2 – 23], Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/obrabeni-zasucha-ano-ci-ne.html>
- [11] KARÁSEK, J. *Metrolgie a montáž (studijní podklady)*, 2011[online].  
[cit. 2014 – 3 – 9], Dostupné z: [http://www.kom.tul.cz/soubory/mm\\_pod.zip](http://www.kom.tul.cz/soubory/mm_pod.zip)

- [12] MICHNA, Š. *Vlastnosti hliníku a jeho slitiny*, Ustí nad Labem: UJEP , -. [online] 2014 [cit. 2014–3-8], Dostupné z: [http://www.stefanmichna.com/download/technicke-materialy\\_II/vlastnosti\\_AL\\_a\\_jeho\\_slitin.pdf](http://www.stefanmichna.com/download/technicke-materialy_II/vlastnosti_AL_a_jeho_slitin.pdf)
- [13] JELÍNEK, A. *Analýza podmínek obrábění hliníku a jeho slitin*. [Bakalářská práce]. Brno, VUT v Brně, 2008. 35 s.
- [14] BORO VAN, P. *Zvláštnosti třískového obrábění vybraných materiálových skupin*, - Technický týdeník, 2012. [online]. 2014 [cit. 2014 – 3 – 24], Dostupné z: <http://www.t-support.cz/t-support/?rubrika=1461>
- [15] REKTORYS, K. *Přehled užití matematiky I a II*. 7. vyd. Praha: Prometheus, spol. s.r.o., 2000. 1594 s. ISBN 80-7196-179-5.
- [16] ČSN ISO 8688-1. *Testovanie trvanlivosti pri frézovanie*. Nové Zámky: VUNAR, 1993.